

Johannes Moerschner und Wolfgang Lücke, Göttingen

# Stoffstromanalysen in der Pflanzenproduktion

*Stoffstromanalysen in Form von Betriebsmittelbilanzen können wertvolle umweltrelevante Informationen aus der landwirtschaftlichen Grundstoffproduktion liefern. Methodisches Vorgehen und Machbarkeit solcher Bilanzen werden am Beispiel eines Weizenproduktionsverfahrens demonstriert. Für Energiebilanzen eignen sich Betriebsmittelbilanzen ausgezeichnet als Rechengrundlage. Besonders wenn Stoffflussinformationen im Zusammenhang mit Umweltbewertungsinstrumenten wie der Ökobilanz weiter verwendet werden sollen, verbleiben Bereiche, die mit dem in Prozesskettenanalysen üblichen Vorgehen nicht darstellbar sind. Dies betrifft etwa Emissionen wie Lachgas oder die Nitratauswaschung.*

Dipl.-Ing. agr. Johannes Moerschner promoviert am Institut für Agrartechnik der G.-A.-Universität Göttingen, Gutenberg-Str. 33, 37075 Göttingen. Prof. Dr. Wolfgang Lücke ist Direktor des Instituts für Agrartechnik der G.-A.-Universität Göttingen; e-mail: jmoersc@gwdg.de

## Schlüsselwörter

Stoffstrombilanz, Pflanzenproduktion, Winterweizen

## Keywords

Substance flow analysis, arable production, winter wheat

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 00301 erhältlich oder über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Der Erfassung von Stoff- und Energieströmen landwirtschaftlicher Produktion kommt eine besondere Bedeutung für die Abschätzung der mit ihnen verbundenen Umweltwirkungen zu, so bei der ökologischen Bewertung unterschiedlicher Ernährungsweisen oder von Biomasse-Bereitstellungsverfahren für die Energiegewinnung, etwa mit dem Instrument der Produkt-Ökobilanz.

Die im Rahmen der Sachbilanz zu beschreibenden Stoffgruppen lassen sich mit den Sammelbegriffen "Stoffe", "Schadstoffe", "Abfälle", "Energieeinsatz" und "Emissionen" charakterisieren (Bild 1). Im Zusammenhang mit der Nahrungsmittelerzeugung sind als künftige Motivation für Stoffflussanalysen in der Landwirtschaft insbesondere die Anforderungen der Produkthaftung hervorzuheben, welche nach dem Willen der Europäischen Union auf die Landwirtschaft ausgeweitet werden soll. Qualitäts- und Umweltmanagementsysteme bauen auf derartigen Betriebsinformationen auf [1]. In der Landwirtschaft wird bisher mit dem Begriff "Stoffbilanz" einerseits die Beschreibung von Nährstoffflüssen im Betrieb, andererseits die Aufstellung von Betriebsmittelbilanzen verbunden, aber weniger eine vollständige Prozesskettenanalyse.

## Methode der Bilanzierung

Als Methodengerüst eignen sich die Normen DIN-EN-ISO-14.040 ff [2, 3]. Dort wird eine Kombination aus Prozesskettenanalyse und Input-Output-Analyse empfohlen, welche daher oft auch in derartigen landwirtschaftlichen Auswertungen verwendet wird.

Neben den eingesetzten Mengen an Betriebsmitteln wie Treibstoff oder Mineraldünger sind für umfassende landwirt-

schaftliche Stoffstromanalysen auch die entlang der Bereitstellungswege auftretenden Stoffströme in ihren Mengen abzuschätzen. Es handelt sich neben den zur weiteren Nutzung produzierten Grundstoffen, Halbzeugen oder fertigen Produkten auch um feste, flüssige und gasförmige Emissionen und Immissionen von oder in Boden, Wasser und Luft sowie um Abfälle.

Folgende Lebenswegebenen von Agrarprodukten lassen sich unterscheiden:

- Rohstoffgewinnung
  - Bau und Unterhalt von Infrastruktur und Fabriken
  - Herstellung landwirtschaftliche Betriebsmittel
  - *Landwirtschaftliche Produktion*
  - Weiterverarbeitung
  - Nutzung, Konsum
  - Entsorgung, Recycling von Reststoffen
- Übergreifende Ebenen:
- Transporte
  - Energiebereitstellung
  - Innerbetriebliche Stoffkreisläufe (Pflanzen-/Tierproduktion)

Außer dem erzeugten landwirtschaftlichen Zielprodukt können Neben-, Kuppelprodukte und Reststoffe auftreten. So macht es in der Bilanz zum Beispiel einen Unterschied, ob Stroh vom Feld abgefahren und in der Innenwirtschaft als Einstreu genutzt oder ob es dann verkauft wird: Im ersten Fall handelt es sich um einen innerbetrieblichen Stoffkreislauf zwischen Betriebszweigen, im zweiten Fall um einen Export aus dem Betrieb, welcher die Zuordnung der vorangegangenen Stoffflüsse zwischen zwei Produkten notwendig macht. Verbleibt das Stroh dagegen direkt auf dem Acker und wird eingearbeitet, so stellt es einen Stoffkreislauf im selben Betriebszweig dar.

## Bereitstellungsketten

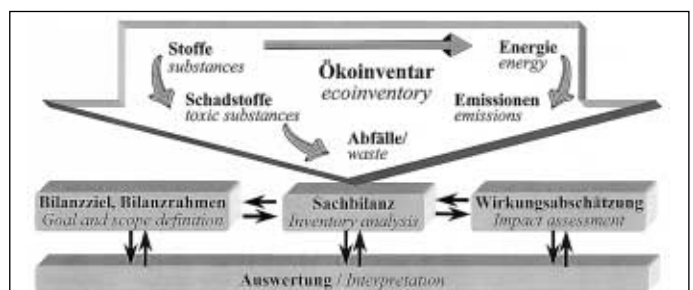
### landwirtschaftlicher Betriebsmittel

#### Energieträger

In der Landwirtschaft werden hauptsächlich Dieselkraftstoff, Heizöl und Strom, in den Vorketten der Betriebsmittel auch weitere verwendet. Als Vorkette sind Exploration, Förderung, Aufbereitung, Lagerung und alle Transporte bis zum landwirtschaftlichen Betrieb zu berücksichtigen, bei Strom zusätz-

Bild 1: Stoffstromanalyse und ihre Verbindung zur Ökobilanz

Fig. 1: Substance flow analysis and its connection to life cycle assessment (LCA)



lich der spezifische Energieträgermix, Wirkungsgrade und Übertragungsverluste.

### Saat- und Pflanzgut

Der Bereitstellungsprozess sollte anhand einer "typischen" landwirtschaftlichen Erzeugungssituation einbezogen werden. Zusätzlich sind spezifische Aufwendungen für die Saatguterzeugung zu berücksichtigen, der meist niedrigere Ertrag gegenüber dem Marktfruchtanbau, höhere Verluste durch intensivere Reinigung und die Distribution.

### Dünge- und Pflanzenschutzmittel

Die Vorketten bestehen aus Rohstoffgewinnung, Herstellung der Wirkstoffe oder Mineraldünger, Formulierung und Verpackung und allen Transporten bis zum landwirtschaftlichen Betrieb. Bei den Mineraldüngern werden meist die Nährstoffe N, P, K, Mg und Ca berücksichtigt.

Nährstoffströme treten im Ackerbau zusätzlich in Form von Wirtschaftsdüngern, Ernterückständen und Gründung – meist als betriebsinterne Stoffkreisläufe – auf sowie in geringerem Umfang als betriebsextern angefallene Sekundärrohstoffe, die landwirtschaftlich genutzt werden. Anteile der gedüngten Nährstoffmengen – insbesondere Stickstoff – werden ungenutzt als Emissionen in Wasser oder Luft freigesetzt. Diese und die zuvor genannten Nährstoffflüsse über Biorohstoffe sind schwer zu quantifizieren, da sie meist nicht gemessen werden.

### Investitionsgüter (Maschinen und Gebäude)

Die damit verbundenen Stoffströme bei Herstellung, Nutzung, Reparatur und Entsorgung müssen anteilig einem Produktionsverfahren zugeordnet werden. Die Zuordnung auf Fläche, Erntemenge oder Zeit erfolgt üblicherweise anhand grober Abschätzungen, meist nur auf Betriebsebene.

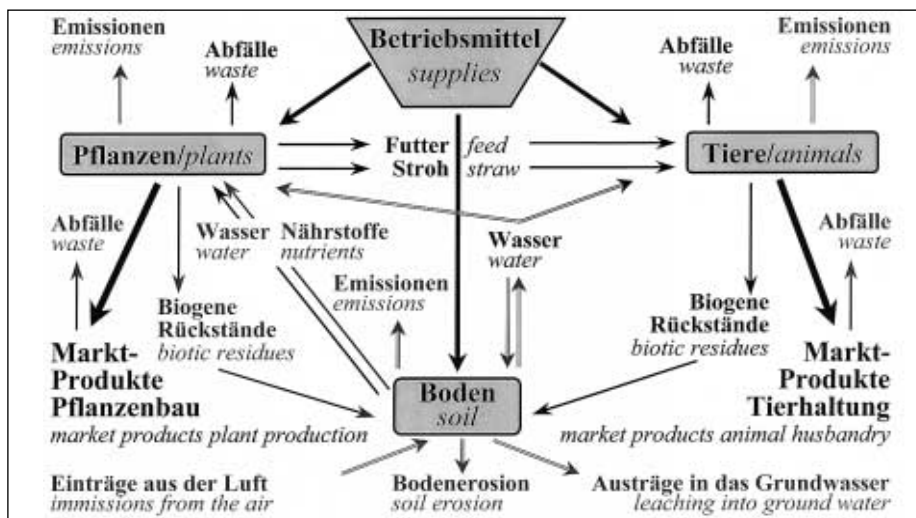


Bild 2: Stoffströme in der Landwirtschaft, vereinfacht (schwer zu erfassende Stoffströme grau)

Fig. 2: Simplified overview on substance flows in agriculture (substance flows, which are hard to quantify, are shown in grey)

### Rechenbeispiel: Produktionsverfahren Weizenerzeugung

Die verwendeten Daten und getroffenen Annahmen entstammen dem Göttinger Systemversuch INTEX [5], System Ordnungsgemäß, Standort Reinshof, Ernte 1998. Folgende Bewirtschaftungsmaßnahmen wurden durchgeführt (Ü = Überfahrt): Spatenrollegen (Stoppelbearbeitung, 1 Ü); Pflügen (1 Ü); Grubbern (Flügelschar, 1 Ü); Saatbettbereitung (1 Ü); Kreiseleggen (+ Aussaat, 1 Ü); N-Düngung (3 Ü); Pflanzenschutzmittelausbringung (4 Ü); Ernte (Dreschen, Abfahren, Lagern, Belüften).

Zur Vereinfachung werden hier nur Stoffströme berücksichtigt, die direkt mit dem landwirtschaftlichen Produktionsverfahren in Verbindung stehen. Für Maschinengewichte, Arbeitszeiten, Nutzungsprofile von Maschinen, Treibstoffverbräuche wurden Angaben aus [4] verwendet und eigene Berechnungen vorgenommen. Die Grunddüngung wird anteilig angesetzt, die Düngermengen errechnen sich anhand des Ertrages aus dem mittleren Nährstoffentzug [6].

### Ergebnisse

Während die Betriebsmittelbilanz im Landwirtschaftsbetrieb und die Mengen an erzeugten Marktprodukten (Bild 2) recht einfach aus Ackerschlagkartei, Stallbuchführung oder der Betriebsbuchführung zu errechnen sind, lassen sich andere Stoffströme besonders im Bereich Emissionen, Abfälle und Wasserhaushalt nur schwer quantifizieren (Bild 2, hellgrau dargestellt). Ein weiterer Unterschied zur industriellen Produktion besteht in den im Boden ablaufenden Prozessen wie Stickstoffdynamik oder Humusbildung; es handelt sich hier um dynamische, mit den lokalen Bedingungen variierende Vorgänge.

Aus Tabelle 1 wird deutlich, dass die Betriebsmittelaufwendungen mit Hilfe einiger Zusatzannahmen flächen- oder ertragsbezogen beschreibbar sind, dass andere Stoffströme, etwa Feldemissionen, aber meist auch bei guter Datenlage nicht auf Betriebsebene in Zahlen abgebildet werden können.

### Schlussfolgerungen

Es sind nur mit Hilfe umfassender Stoffstrombilanzen auch in der Landwirtschaft vergleichende Umweltbewertungen unterschiedlicher Ernährungsweisen möglich, bei welchen direkter und indirekter Anteil der Landwirtschaft adäquat abgebildet werden. In der Landwirtschaft selbst als offenem Produktionssystem ist die einzelbetriebliche Quantifizierung mancher umweltrelevanter Stoffströme jedoch – zumindest heute noch – problematisch. Demgegenüber stellen Stoffstrombilanzen im Sinne einer Betriebsmittelbilanz jedoch eine wichtige und von Landwirtschaftsbetrieben auch bereitstellbare Datenbasis für die Berechnung von Energiebilanzen dar.

Kategorie	Betriebsmittel	Menge/ha	Anmerkungen
Saatgut	Winterweizen	200 kg	
Mineraldünger	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	73,4 kg	Anteil aus Fruchtfolge, Entzug
	K <sub>2</sub> O	51,8 kg	Anteil aus Fruchtfolge, Entzug
	CaO	300 kg	Anteil aus Fruchtfolge
	MgO	17,3 kg	Anteil aus Fruchtfolge, Entzug
	N	180 kg	Anteil aus Fruchtfolge, Entzug als KAS (=CAN)
PSM	Wirkstoffe	2,6 kg	Summe aller Wirkstoffe
	Mittelaufwand	5,3 kg	Summe aller PSM
Endenergeträger	Diesel	67,3 kg	80,6 l (Dichte: 0,835)
	Motoröl	1,4 kg	2 % vom Treibstoff
	Strom	37,4 kWh	Lagerbetrieb
Maschinen	Arbeitszeit	33,7 kg	anteilige Abschreibung Material
		6,4 Akh	nur Maschinenstunden
Ertrag	Weizenkorn	8,73 t	85 % TS, Mittelwert Druschparzellen
<b>Hier nicht quantifiziert:</b>			
	Wasser	l/m <sup>2</sup>	Entzug, Sickerwasserspende
	Gebäude		anteilige Abschreibung Material
	Abfälle	kg	PSM-Behälter, Saatgutsäcke
	Emissionen, Immissionen	kg	fest, flüssig, gasförmig
	Stoffströme aus den Vorketten		

Tab. 1: Aggregierte Betriebsmittelbilanz Winterweizen 1997/98

Table 1: Aggregated substance flow balance for winter wheat 1997/98